

ユニークな自動バックウォッシュフィルターを使用した効率性の向上

Stefan Schöpf

Lenzing Technik GmbH

4860 Lenzing, AUSTRIA

(s.schoepf@lenzing.com)

概要

様々な濾過工程は今や製糖工場においてもリファイナリーにおいても欠かせない設備です。過去数十年に渡り多くの有名且つ特別にカスタマイズした技術が、様々な製糖プロセスや、モラセスやスターチ等といった関連産業において試験され、使用されてきました。

これらのプロセスのすべてのステップへ同様に当てはまる、濾過効率の向上は以下を意味します：

- ・総合的なミル及びリファイナリーの効率の改善
- ・生産量向上によるキャパシティの増加
- ・貴重な製品ロスの削減
- ・製造及びメンテナンスコストの削減
- ・最終製品の品質向上

以上の要因を達成することが出来れば、競合マーケットにおいても更なるメリットを得ることが可能になります。

Lenzing Technik GmbHは濾過分野において40年以上の実績を有しており、そのユニークな濾過技術によって砂糖業界へ優れた利益をもたらしてきました。

本書においては、Lenzing OptiFil®が4つの異なる操作モードでスタンダードリカーやシックジュース、シックジュース、モラセス、ベタインモラセス、リメルトローシュガーもしくはスターチ溶液のポリッシュといった、製糖プロセスの様々な濾過工程中どのように使用されるのかをご説明します。

キーワード

自動バックウォッシュフィルター、シックジュース濾過、モラセス濾過、濾過助剤の節約、濾過効率、ベタインモラセス、スターチ、スタンダードリカー、効率性の向上

1. 導入

濾過はほぼすべての生産プロセスの鍵となるプロセスです。数ある製糖工程においても特に、濾過は他の競合相手との差別化を図ることのできる工程です。

濾過工程は、工場の総合的な効率と同様に製品の品質や下流工程の生産量をも決定します。また、費用においても無視できない影響を及ぼします。安全や品質といったキーファクターに加え、コストも同業者との競争においても重大な差別化要因です。この傾向は、2017年に砂糖業界に対する政府の規制撤廃に伴い、ますます大きくなります。

本書ではLenzing Technik GmbHのバックウォッシュフィルターOptiFil®が世界の砂糖工場やリファイナリーにどのような利益をもたらすことが可能かご説明します。

稼働原理やLenzing OptiFilの異なる4つのオペレーションモードから始め、テストスキッドや固定装置から算出された結果もご紹介します：

- ・シックジュース及びスタンダードリカー
- ・モラセス及びベタインモラセス
- ・リメルトローシュガー
- ・スターチ溶液のポリッシュ

2. Lenzing OptiFil®

Lenzing Technik GmbHは濾過分野において40年以上の実績があります。

高粘度の紡糸液の濾過分野からスタートし、自動バックウォッシュフィルターKKFが約10年前に低粘度のアプリケーション用に再設計されたことでLenzing OptiFil®が誕生し、特許を取得するまでに至りました。

2.1. 稼働原理

Lenzing OptiFilは4つのオペレーションモードで運転が可能な完全自動連続式システムです。金属、合成繊維もしくはフリースがフィルターメディアとして使用され、内部もしくは表面の異なるサイズの粒子を留めます。事前に設定された汚染レベルに到達後、少量の濾過媒体を逆洗し、フィルター生地を洗浄します。逆洗の間も連続濾過が可能です。

詳細を述べると、Lenzing OptiFilのフィルター生地は、外側の多孔支持構造(“多孔ドラム”)の外側に設置されます。フィルタードラムの内側“Room P1(非濾過液)”から外側の“Room P2(濾液)”へ通液することで濾過します。

“Room P2”（濾液）から“Room P3”（凝縮物）へ部分逆洗をする間、少量の濾液をフィルターの外へ押し出し、不純物を数秒間で完全に排出します。

図1はフィルターの稼働原理とセットアップの詳細を示しています。

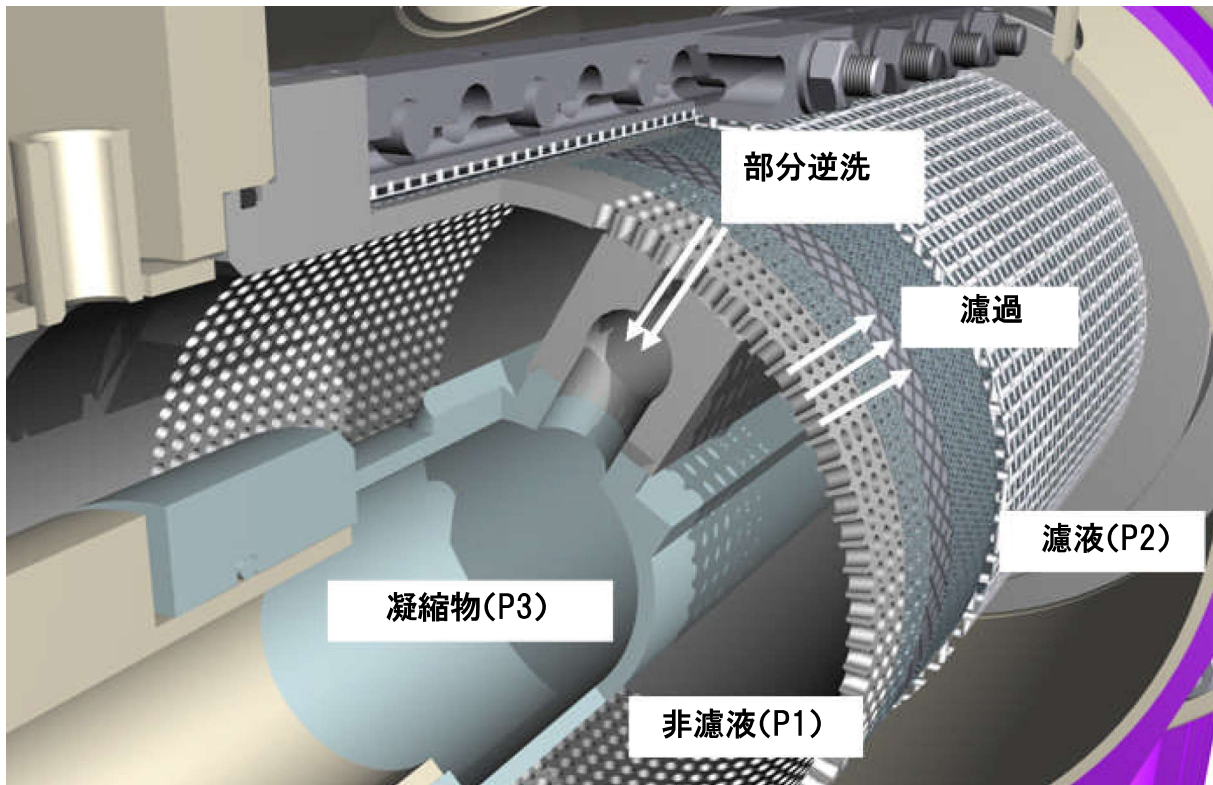


図1：Lenzing OptiFil®の稼働原理

2.2 オペレーションモード

前述の通りLenzing optiFil®は4つの異なるオペレーションモードで運転します；

- ・表面濾過
- ・深層濾過
- ・ケーキ濾過
- ・プレコート濾過

濾過の要求精度や流体の特徴にあわせて濾過モードを決定します。それぞれのオペレーションモードの周辺条件や原理を次のページからご説明します。

2.2.1 表面濾過

理論的背景

表面もしくはブロック濾過は、固形物がどのようにフィルターメディアの孔をブロックするのか、そのメカニズムを説明しています。このメカニズムは、軟性かつ成形性のある粒子が網で濾過されるとき、もっとも分かりやすいかたちで表れます。この場合図2で示す通り、固形分が網の孔を塞ぎ切ると、網に対する差圧が急激に上昇します。

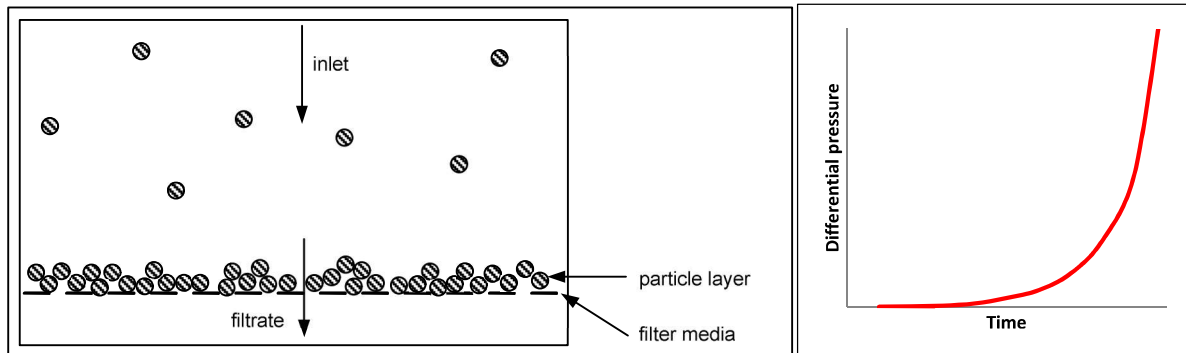


図2: 表面濾過の原理

OptiFilと表面濾過

この理論的背景をLenzing OptiFil®に実用的な方法で当てはめると、固形分が100ppm以下で、通常100cP以下の低粘度の流体が必要となります。

これらの条件が満たされれば、逆洗によるロスを1%以下に抑えつつ濾過度を $5\mu\text{m}$ にまで引き下げることが可能です。高速で部分的に逆洗を行うため、完全連続式で運転する一方で、ロスを限りなく低くすることが可能となります。

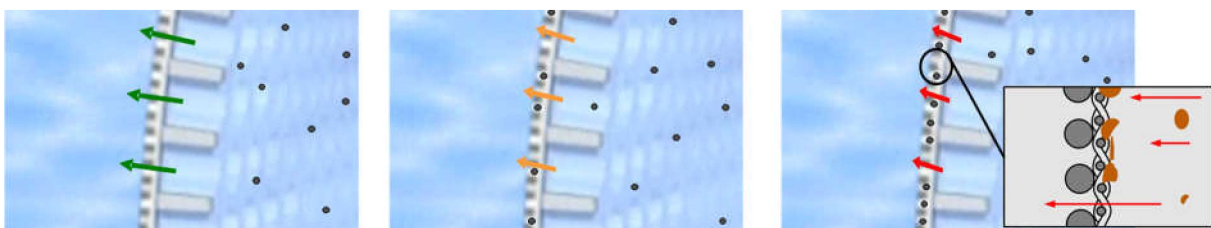


図3: 表面濾過としてのOptiFil稼働原理

図3は基本的な一連の濾過サイクルを示しています。左側ではフィルターメディアの孔はすべてつまりの無い状態ですが、差圧によって逆洗が発動し左側から右側へサイクルが再びスタートするまで、右側へいくにつれてだんだんと孔がブロックされてゆきます。

2.2.2 深層濾過

理論的背景

図4は深層濾過の原理を示しており、フィルターメディアの吸収容量が限界に達するまで固形分は浸透性のある多層フィルターメディアの内側で保持されます。

その後、上述のように差圧が急激に上昇するか、もしくは臨界差圧によって不純物が濾液へブレイクスルーします。

両方に同じ原理が当てはまりますが、表面もしくはブロック型濾過同様、一層のフィルターメディアもまた汚れ保持容量が格段に高くなります。

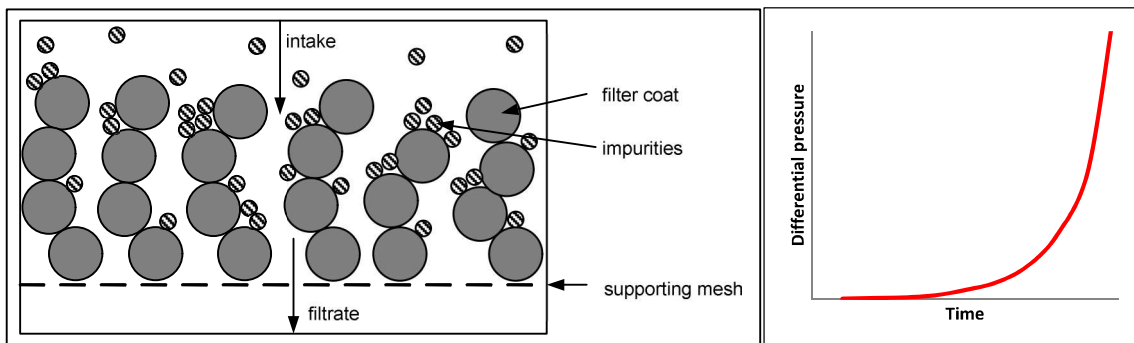


図4： 深層濾過の原理

OptiFil®と深層濾過

焼結金属繊維フリースを使用することで、濾過度を $3\mu\text{m}$ 絶対濾過まで引き下げることが可能です。通常このタイプの濾過は軟性でゲル状の粒子を含む500ppm以下の固形分を有した浮遊物質に適応されます。

結晶状の粒子が恒久的にフリースをブロックする可能性があるため、時折フィルターメディアの機能を回復するためCIPが必要になる一方、上記の条件を満たせば、6～24ヶ月間といったフィルターメディアの寿命を達成することが可能です。

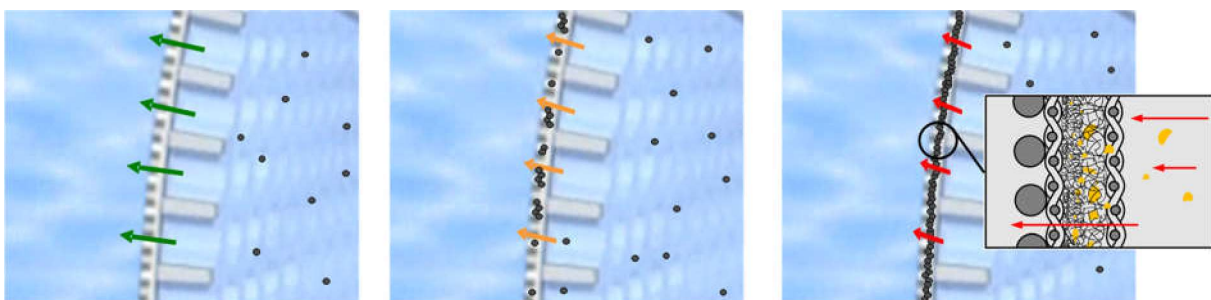


図5： 深層濾過としてのOptiFil®の稼働原理

図5は基本的な一連の濾過サイクルを示しています。左側ではフィルターメディアの孔はすべて詰まりの無い状態ですが、差圧によって逆洗が発動し左側から右側へサイクルが再びスタートするまで、右側へいくにつれてだんだんと孔がブロックされてゆきます。右側の詳細図では、基本的な金属繊維フリースのセットアップが示されています。

2. 2. 3. ケーキ濾過

理論的背景

ケーキ濾過の間、固形粒子はフィルターメディアに溜り、ケーキが形成されます。最良のケースで濾過ケーキの厚さに比例してフィルターケーキの抵抗が上昇します。連続的なフローレートにおいて、差圧は濾過量に比例して上昇します。

図6が示す通り、フィルターメディアの孔の直径は固形粒子よりも大きくなっています。しかし粒子は孔の上で固形のブリッジを形成します。ブリッジができるまで固形粒子が濾液に流れ込む可能性が出てきます。

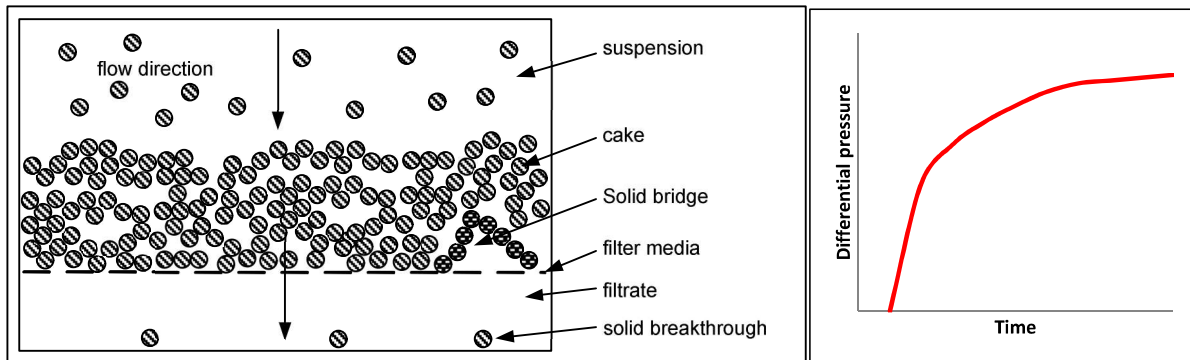


図6: ケーキ濾過の原理

OptiFil®とケーキ濾過

ケーキ濾過設備としてLenzing OptiFil®を利用する際キーとなる必要条件是、浮遊物質がフィルターメディアの表面に浸透性のあるケーキを形成する傾向がある粒子を含んでいることです。そのような条件が満たされれば、メッシュサイズが25~50 μm のフィルターメディアであっても濾過を1 μm まで引下げ、1%までの高い固形を有していても対応可能となります。

場合によってはケーキが十分形成される前に濾液が濁ることもあります。その場合は濾液の最初の層を再循環させることで防止可能です。典型的なケーキの厚さは0.5~2mmの間で物理的的最大値は5mmとなり、これは多孔ドラムの厚さに相当します。

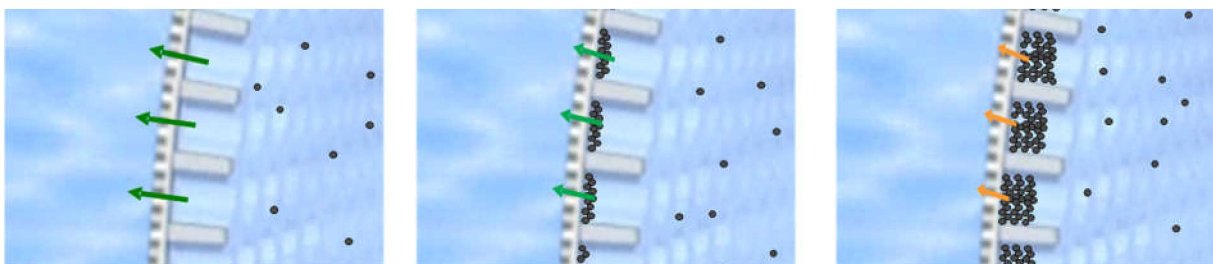


図7: ケーキフィルターとしてのOptiFil®の稼働原理

図7は多孔ドラムのボアホール内部におけるケーキの形成を示したもので、フィルターメディアの表面で、フィルターケーキの支持層として使用されています。これは濾過の度合いを決定するものではありません。

2. 2. 4. プレコート濾過

理論的背景

プレコート濾過の理論的背景はケーキ濾過に類似しています。唯一の違いは、浸透性のある濾過ケーキを形成するため浮遊物質に濾過助剤(主にパーライト、珪藻土もしくはセルロース)が添加されます。濾過工程の要求仕様や粒子の特徴によって、プレコートとしても、もしくはボディフィードとしても行うことができます。

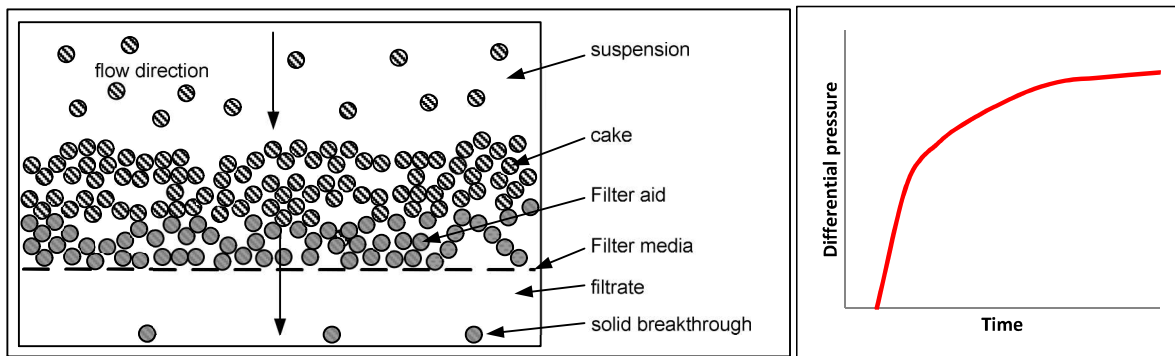


図8:プレコート濾過の原理

OptiFil®とプレコート濾過

プレコート濾過は、粒子が圧縮不可能なケーキを形成しない場合、そして濾過粒度がかなり高くなくてはならない場合に使用されます。

多くの場合、濾過助剤は浮遊物質に直接添加されます。それにより、濾過助剤と浮遊物質に含まれる粒子がミックスされたケーキを形成します。

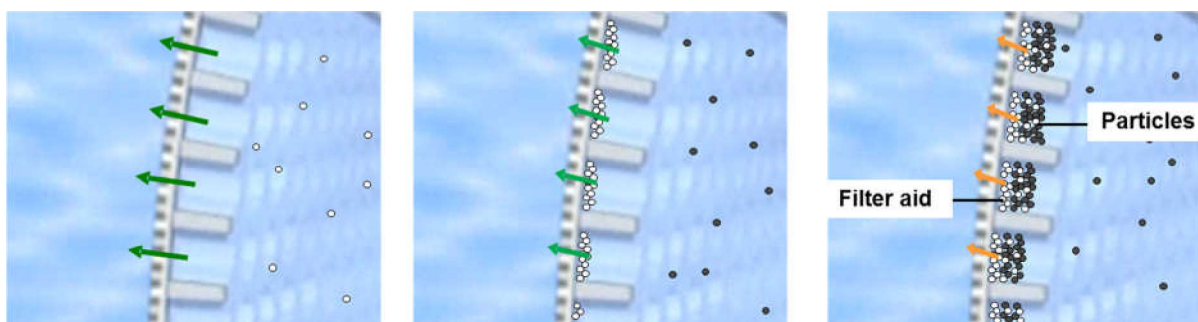


図9:プレコートフィルターとしてのOptiFil®の稼働原理

図9はフィルターメディアの表面における多孔ドラムのポアホール内部のプレコート層としての、濾過助剤を含んだケーキ形成を示しています。濾過助剤の粒子サイズの分布が工程で使用されるフィルターの細かさを決定します。

3. アプリケーション

3. 1. スタンダードリカー/シックジュース

アプリケーションの詳細

シックジュースとはシンジュースの水分を蒸発させたもので、ここから焦げた砂糖やイオン交換樹脂、効用缶や上流工程の設備からくる、あらゆる沈殿物を取り除く必要があります。こうした不純物は砂糖の品質劣化を招く可能性があるからです。



図10:シックジュース濾過のイメージ

オペレーション条件

OptiFil®をシュガービートのシックジュース工程に設置する場合について詳細をご説明します。この場合効用缶から排出されたシックジュースは以下の条件を有するものとします。

- ・温度： 95℃
- ・粘度： 35mPas
- ・糖分： 76brix
- ・固形分： 20mg/Lまで

これらの条件において、5分毎に20リットルの逆洗を行う一方、OptiFil1台で最大100m³/hまで処理することができます。結果として、平均して濾液の品質が3mg/L以下で、逆洗によるロスを0.5%以下に抑えることが可能です。OptiFilはフィルターエイドなしで、フィルターメディアとして10もしくは5μmの織布を使い表面フィルターとして運転します。

競合技術

このアプリケーションに以前使用されていた設備は、例えばサクシオンノズル逆洗フィルターやディスプレイバグフィルターがあげられますが、双方濾過品質は低く、洗浄やバグの取り換えにといった手作業も現場の負担となります。シックジュース濾過に使用されるその他の種類の設備はプレコートキャンドルもしくはフィルターエイドを使用したプレートフィルターがあります。この種のフィルターは良質の濾液を生産しますが、投資額が高額で複雑な自動化が必要な上、濾過助剤の使用は健康面やランニングコストの面から言っても重要になってきます。

結論

導入部分で触れたとおり、砂糖工場やリファイナリーが好成績を残すためには、次のような効率性に優れたシックジュース濾過を採用することが重要です；

- 総合的なミル及びリファイナリーの効率の改善
高品質の濾過及びロスを低く抑えることで達成
- 生産性向上によるキャパシティの増加
生産量には直接的な影響はありません
- 貴重な製品ロスの削減
効率的な逆洗によってロスが0.5%以下に

○メンテナンス及び生産コストの削減
キャンペーン中の濾過助剤やサービスが不要

○最終製品の品質向上
濾液中の固形分含有量が3mg/L以下に

3. 2. モラセス

アプリケーションの詳細

使用済み原材料から製造する砂糖の生産量を増やすため、モラセスから砂糖を回収する工場もあります。そのため、最終分離機から出たモラセスは、非常にデリケートなクロマトグラフィープロセスにおいて砂糖を回収する前に濾過されます。クロマトグラフィーの工程を保護しパフォーマンスを上げるため、濾過は非常に重要です。

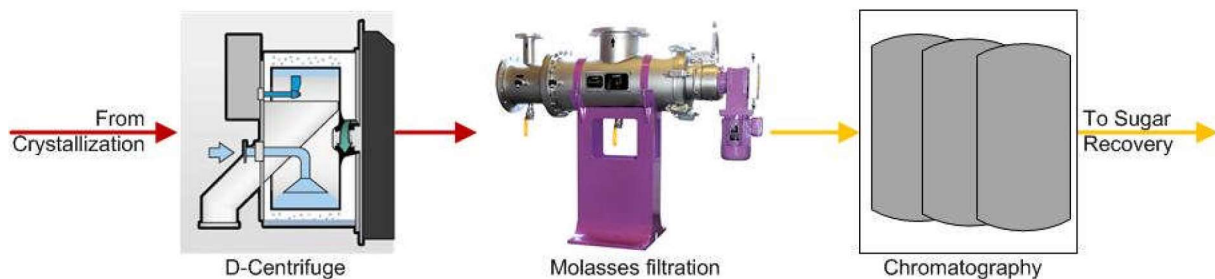


図11: モラセス濾過のイメージ

オペレーションのコンディション

モラセスの最初の数値は以下のようになります:

- ・温度: 80~85°C
- ・粘度: 5mPas
- ・砂糖含有量: 60brix

このアプリケーションにおいて、OptiFil®は10 μ mの織布を使用した表面濾過、もしくは濾液の品質が10 μ mでは十分でない場合は、例えばパーライトといった濾過助剤等を添加してプレコートフィルターとしても操作することが可能です。もし供給物に変化するため、稼働中濾過効率をあげなくてはならない場合でもオペレーションモードは簡単に変更できます。そのため必要なフィルターエイドの量を最小まで抑えることが可能になるのです。

ある工場ではクロマトグラフィーから産出されたベタインを加工する際、OptiFilがその効率化に大きな役割を果たしています。

競合技術

高い要求精度を満たすため、多くの濾過装置が試験されてきましたが、現在までにキャンドルもしくはプレートタイプのプレコートフィルターがモラセスの濾過に使用されています。

結論

- 総合的なミル及びリファイナリーの効率の改善
下流工程のクロマトグラフィーの耐久性の増加
- 生産量向上によるキャパシティの増加
同量のビートもしくはケーンからより多くの砂糖を生産する
- 製品ロスの削減
分離機を通じて低リジェクトロスを回収できる
- メンテナンス及び製造コストの削減
フィルターエイドの削減もしくは排除
- 最終製品の品質向上
プレコートフィルターと同様の品質

3.3. リメルトローシュガー

アプリケーションの詳細

原料糖のリファイナリーでは結晶の原料糖(通常南アメリカから輸入される)はリメルト・炭酸飽充され、泥やバガス、バガシエロを除去するために濾過されます。さらに新しいアプローチとして、炭酸飽充のケミカルを節約し下流工程の負担を低くするため、リメルトパンの直後でリメルトローシュガーを濾過する方法が採用されています。



図12: リメルトローシュガー濾過のイメージ

オペレーションのコンディション

原料糖の品質によって、供給レンジは広範囲に渡り変化します。さらに、原料糖生産で使用される、異なる上流工程の現場や工程、もしくはパラメーターによって、輸送中浮遊物質中の不純物は変化します。

粒子、特に繊維質のバガスはフィルターメディアの表面にとっても薄いフィルターケーキを形成します。10 μm の織布を使うことで80~85%の固形物を取り除くことが可能です。5 μm の織布や、3 μm のフリースタイプのフィルターメディア等を追加することで、分離効率が向上します。

競合技術

ここでご紹介したアプローチの方法は比較的新しいため、長期間に渡り実証された技術というものはありません。しかしながらOptiFilでは、わずか数回の試験的導入によりコストベネフィットとパフォーマンス効率のよさを実現しています。

結論

- 総合的なミル及びリファイナリーの効率の改善
下流工程において処置が少なくて済む
- 生産量向上によるキャパシティの増加
前処理によりカーボネーション及びシックジュース濾過のキャパシティが高まる
- 貴重な製品ロスの削減
リジェクトロスのリカバリーが可能
- 製造及びメンテナンス費用の削減
ケミカル及びフィルターエイドの消費量を減らせる
- 最終製品の品質向上
最終製品の品質は変わらないが、より少ない労力で同じ結果が得られる

3.4. スターチの研磨

アプリケーションの詳細

スターチの製造はシュガーミルにおいて話に上がることはありませんが、同じオペレーターに関係していたり、行われたりすることがよくあります。

糖化後、コーン、小麦、ポテトなどの原材料の残渣物をスターチ液から取り除かなければなりません。固形物の割合が1%以上あるので少なくともフィルターを2回通さなければなりません。後工程のイオン交換プロセスに入る前には、スターチ液からできる限り異物を取り除いておく必要があります。特に粘性のある粒子は樹脂をつまらせる原因になってしまいます。

図13は本アプリケーションのプロセスレイアウト図の一例です。



Figure 13: Visualization starch filtration

オペレーション条件

1回目のフィルターで主な固形物を取り取り除いた後、1 μ mまでのより細かいフィルターが必要です。一般的に、フィルターエイドとして珪藻土によるプレコートフィルターが使われます。

OptiFilではケーキ用のサポートレイヤーとして25 μ mフィルターが使用されており、1ユニットにつき10m³/hまで対応することができます。

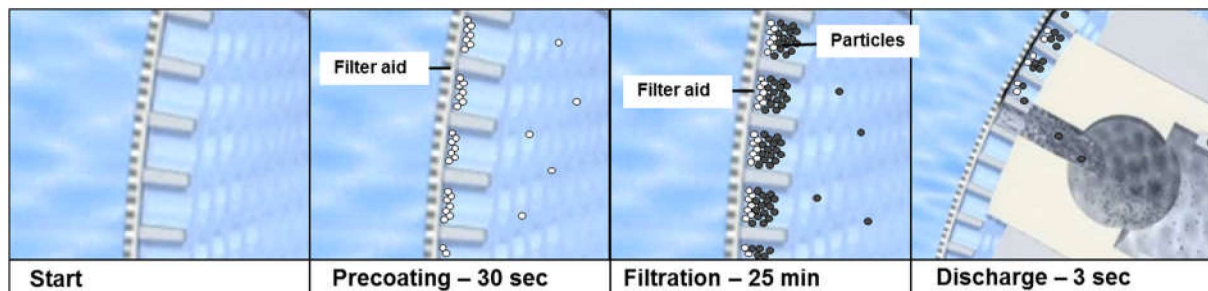


Figure 14: Example of a precoat / filtration cycle

図14に表されるように、OptiFilのプレコーティングフェーズはフィルターフェーズに比べかなり短くなっています。これは効率よくフィルターするために必要な要素、フィルターケーキの薄さと均一性が優れているためです。リジェクトは最初のフィルター段階で再利用することができます。

競合技術

本アプリケーションが適用可能な対象技術は、プレコートキャンドル及びプレートフィルターです。詳細はパラグラフ3.1及び3.2をご覧ください。

結論

本プロセス及び高効率逆洗浄フィルターのメリットは以下の通りです。

- 総合的なミル及びリファイナーの効率の改善
少ないフィルターエイドの消費量
- 生産量工場によるキャパシティの増加
- 貴重な製品ロスの削減
リジェクトロスのリカバリーが可能

○製造及びメンテナンス費用の削減

ほぼ連絡式に処理するため、滞留容積を減らすことが可能

○最終製品の品質向上

よりシンプルな技術で、最終製品の品質はほとんど変わらない

4. 要約

本書の内容をまとめますと、効率的なフィルター処理が、持続的かつ経済的な砂糖製造の鍵であるということです。他の産業においてこれほど多様なフィルター工程を必要とするところはほとんどありません。一方、砂糖業界において成功するためにはどのフィルターも可能な限り効率的であることが求められます。

本書の中でこの唯一のテクノロジーによるこれまでの成功例を挙げてきましたが、ここでは触れていないタスクも出て来るでしょう。しかしそれらもより効率的な方法で処理することができるかもしれません。

本書を読んで異なるフィルター原理がどのように働き、またフィルターを最適化することで最適な製造を達成することができるということがお分かり頂けると思います。